

Politechnika Wrocławska
Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów

Strażnik książek

Dokumentacja projektowa

Imię i nazwisko:
Dominik Bukowicz
Nr indeksu:
268519

Kurs:
Systemy elektroniczne w mechatronice

Wrocław, kwiecień 2025

Contents

| | | |
|---|--|-----------|
| 1 | Założenia koncepcyjne i projektowe | 2 |
| 2 | Schemat blokowy urządzenia | 3 |
| 3 | Opis działania urządzenia | 4 |
| 4 | Opis symulacji konwertera logicznego (Rx) | 5 |
| 4.1 | Odbiór danych z DFPlayera: | 5 |
| 5 | Płyta PCB realizująca funkcje sterująca (4 warstwy) | 7 |
| 6 | Schemat blokowy kodu | 8 |
| 7 | Instrukcja użytkownika i uruchomienia | 10 |
| 8 | Instrukcja serwisowa | 12 |
| 8.1 | Elementy wymagające kontroli | 12 |
| 8.2 | Procedura ładowania lub debugowania kodu | 12 |
| 8.3 | Uwagi końcowe | 13 |
| 9 | Widoki modelu 3D urządzenia | 14 |
| Dodatek A – Rysunki złożeniowe | | 17 |
| Dodatek B – Schemat elektroniczny układu | | 20 |
| Dodatek C – Widok poszczególnych warstw płytki PCB | | 22 |

1. Założenia koncepcyjne i projektowe

Projekt ma na celu stworzenie mechatronicznego trzymacza książek opartego o mikrokontroler Arduino Nano, inspirowanego postacią Iron-Mana. Główne funkcjonalności to:

- Detekcja obecności użytkownika (PIR),
- Detekcja obecności książek (fotorezystor),
- Detekcja światła dziennego (fotorezystor),
- Oświetlenie LED (16 diod WS2812),
- Ruchoma głowa (serwo MG90S),
- Odtwarzanie dźwięków (DFPlayer mini + głośnik),
- System dezaktywuje się, gdy nie ma książek lub jest jasno.

Dla zapewnienia prawidłowej pracy całego systemu dobrano zasilanie 5V o wydajności prądowej do 2A poprzez złącze typu *DC barrel*. Szacunkowe zużycie prądu przez poszczególne komponenty przedstawia Tabela 1. Maksymalny pobór prądu przy jednoczesnym działaniu serwomechanizmu, odtwarzacza DFPlayer oraz listw LED może wynieść nawet do 1,5–1,7 A, dlatego wybrano zasilacz zapewniający odpowiedni zapas bezpieczeństwa. Zastosowany zasilacz (5V/2A) zapewnia stabilność pracy oraz możliwość dalszej rozbudowy systemu.

Table 1: Szacowany pobór prądu przez komponenty systemu

| Komponent | Pobór prądu |
|--|------------------------------|
| Arduino Nano V3.0 | do 200 mA |
| Serwo MG90S (w ruchu) | 120–250 mA (maks. 700 mA) |
| 2x listwa LED WS2812 (16 diod) | ok. 220 mA (maks. do 960 mA) |
| DFPlayer Mini + głośnik | do 200 mA |
| Czujnik PIR HC-SR505 | < 0,1 mA |
| Fotorezystory (2 szt., przez dzielniki napięcia) | pomijalne (μ A) |
| Łącznie (typowo) | 800–950 mA |
| Łącznie (szczytowo) | do ok. 1,7 A |

2. Schemat blokowy urządzenia

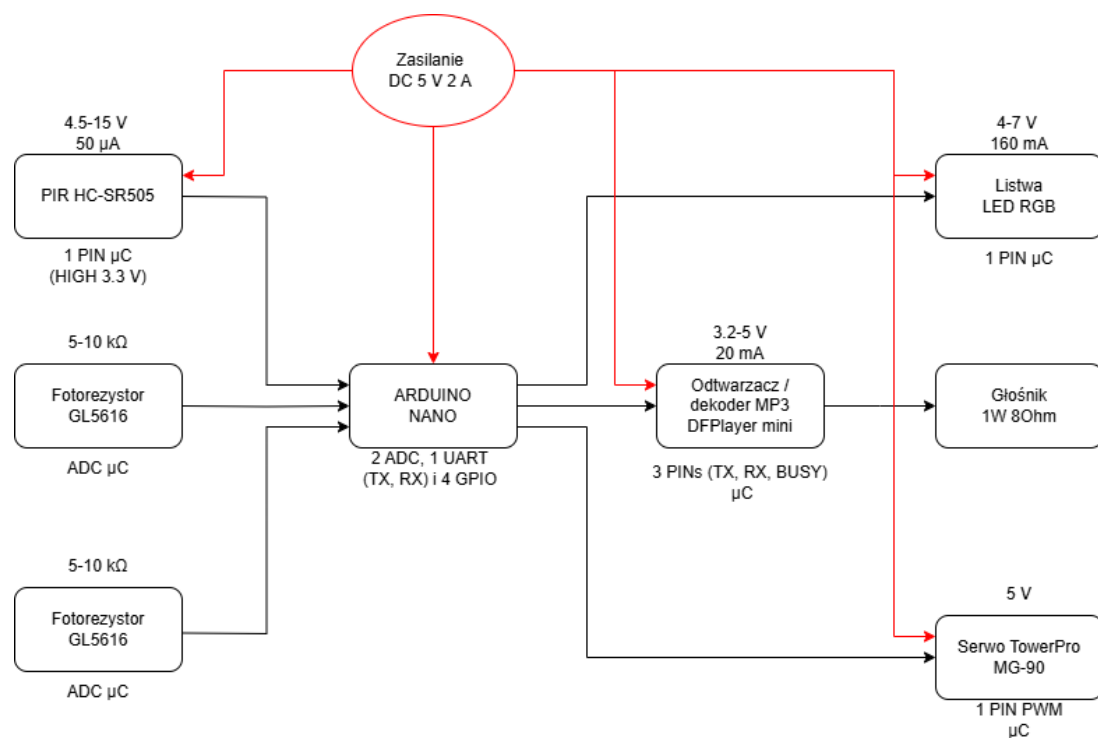


Figure 1: Schemat blokowy systemu

3. Opis działania urządzenia

Urządzenie rozpoczyna swoje działanie po wykryciu obecności użytkownika za pomocą czujnika ruchu PIR HC-SR505. Detekcja ruchu inicjuje sekwencje sprawdzania stanu otoczenia oraz warunków, w których aktywacja efektów ma sens i spełnia założenia projektowe.

Pierwszym etapem po detekcji ruchu jest weryfikacja obecności książek – realizowana przy pomocy fotorezystora (GL5616) umieszczonego w pokrywie trzymacza. W przypadku braku książek urządzenie nie podejmuje dalszych działań.

Jeśli książki są obecne, system przechodzi do oceny warunków oświetleniowych – fotorezystor (GL5616) monitoruje poziom światła dziennego. Jeżeli oświetlenie otoczenia przekracza ustalony próg (np. w ciągu dnia), funkcje urządzenia pozostają nieaktywne, by uniknąć niepotrzebnego działania.

W momencie, gdy spełnione są dwa podstawowe warunki:

- Obecność książek
- Brak światła dziennego

Następuje aktywacja urządzenia:

1. Włącza się podświetlenie LED – listwa WS2812 w podstawie urządzenia podświetla książki efektywnym, kolorowym światłem (pomarańczowym).
2. Mechanizm obrotowy wprawia w ruch głowę modelu Iron-Mana, wykonując symboliczny gest interakcji.
3. DFPlayer Mini losowo wybiera i odtwarza jeden z wcześniej wgranych plików dźwiękowych w formacie MP3 – kwestie głosowe inspirowane postacią Iron-Mana (jedną z 5 losowych kwestii).

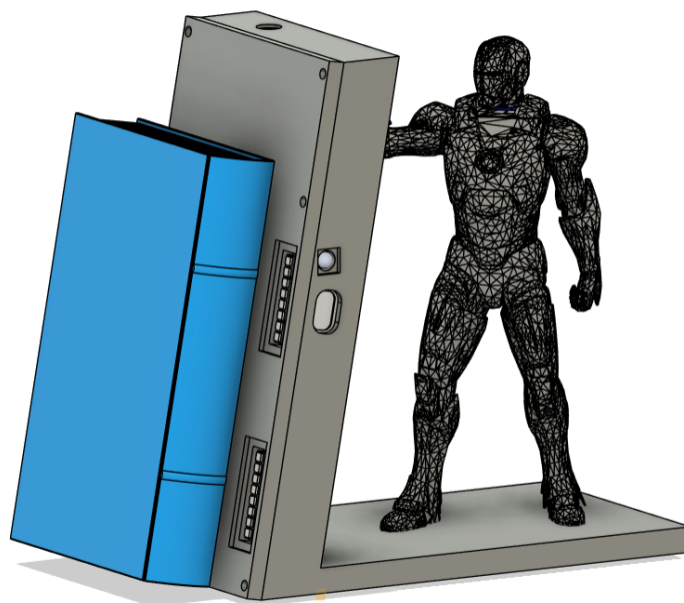


Figure 2: Schemat blokowy systemu

4. Opis symulacji konwertera logicznego (Rx)

W celu zapewnienia poprawnej komunikacji pomiędzy Arduino Nano (pracującym z logiką 5 V) a modulem DFPlayer Mini (obsługującym poziomy logiczne 3,3 V), konieczne było dopasowanie poziomów napięć dla linii transmisji UART.

W celu konwersji logiki 3,3 V na logikę 5 V zastosowano klasyczny układ logicznego konwertera poziomów napięć oparty na tranzystorze BSS138, działający jako przełącznik typu open-drain. Umożliwia on komunikację pomiędzy urządzeniami pracującymi na różnych poziomach logicznych, zapewniając niezawodną i bezpieczną dwukierunkową transmisję danych bez ryzyka uszkodzenia modułu DFPlayer Mini.

Dodatkowo, do jednostronnej konwersji (dla linii Tx Arduino → Rx DFPlayer) wykorzystano dzielnik napięcia zbudowany z rezystorów, który redukuje napięcie z 5 V do około 3,3 V.

4.1. Odbiór danych z DFPlayera:

Moduł DFPlayer Mini, oprócz odbierania komend sterujących, może również wysyłać dane zwrotne przez swoją linię Tx (czyli Rx Arduino). Przykładowe dane to informacje o rozpoczęciu lub zakończeniu odtwarzania, kody błędów (np. brak karty SD, nieprawidłowy format pliku), a także odpowiedzi na zapytania — np. aktualny poziom głośności, numer odtwarzanego utworu czy liczba dostępnych plików.

Odbieranie tych danych może być kluczowe podczas debugowania kodu. Pozwala to na weryfikację poprawności komunikacji UART, sprawdzenie, czy komendy są prawidłowo interpretowane przez moduł oraz szybkie diagnozowanie problemów związanych z działaniem DFPlayera lub kartą pamięci. Dzięki temu możliwe jest precyzyjniejsze dostosowanie logiki programu do realnych warunków pracy układu podczas debugowania kodu.

Poniżej znajduje się schemat symulowanego układu w programie LTspice, a także wynik przeprowadzonej symulacji, potwierdzający poprawność działania konwertera poziomów logicznych.

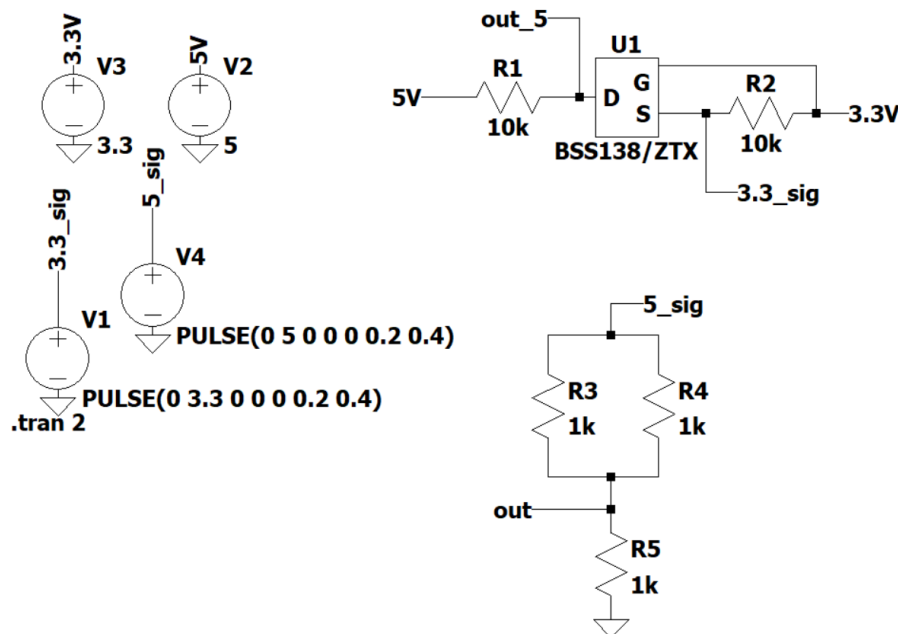


Figure 3: Symulacja konwertera logicznego Rx

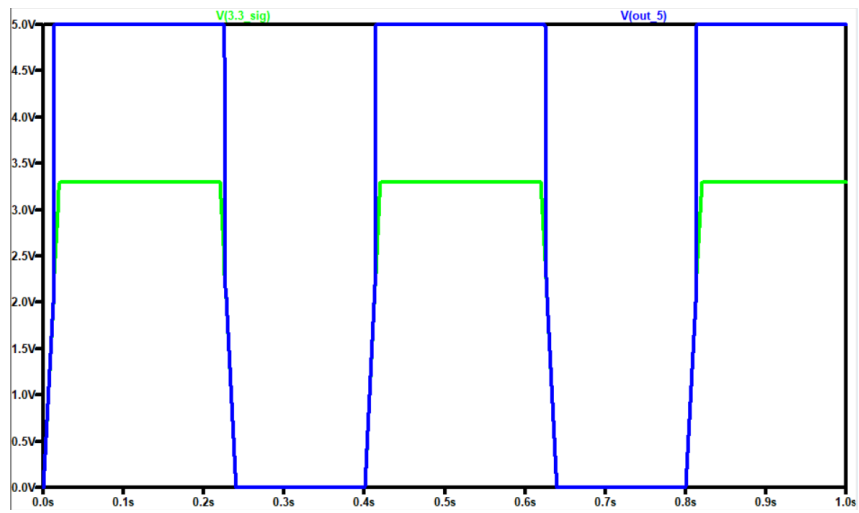


Figure 4: Wynik symulacji - napiecia Rx

5. Płyta PCB realizująca funkcje sterująca (4 warstwy)

W ramach integracji sygnałów z peryferiów oraz zapewnienia odpowiedniego reagowania systemu na zdarzenia zgodnie z założeniami projektowymi, zaprojektowano i wykonano czterowarstwowa płytke PCB. Jej zadaniem jest połączenie wszystkich kluczowych elementów systemu, takich jak mikrokontroler, czujniki, moduły wykonawcze oraz komponenty zasilające, w jeden spójny układ.

Cztery warstwy pozwoliły na rozdzielenie sygnałów, zasilania oraz masy, co znacząco poprawiło integralność sygnału i zminimalizowało zakłócenia elektromagnetyczne (EMI).

Zasilanie całego układu realizowane jest poprzez zewnętrzny zasilacz 5V o wydajności prądowej 2A, co zapewnia odpowiednią rezerwę mocy nawet przy równoczesnym zasilaniu elementów o większym poborze prądu, takich jak serwomechanizm MG90S, listwy LED WS2812 czy moduł DFPlayer Mini. Na płycie zaprojektowano odpowiednie ścieżki i punkty rozdziału napięcia, a także uwzględniono kondensatory filtrujące w celu stabilizacji pracy układu i redukcji zakłóceń.

Na płycie umieszczono złącza do podłączenia serwomechanizmu, listwy LED, czujnika PIR, fotorezystorów, DFPlayera oraz innych komponentów. Uwzględniono również możliwość programowania mikrokontrolera bez konieczności demontażu systemu oraz zaprojektowano płytke tak, by umożliwiała łatwy montaż mechaniczny wewnątrz obudowy urządzenia.

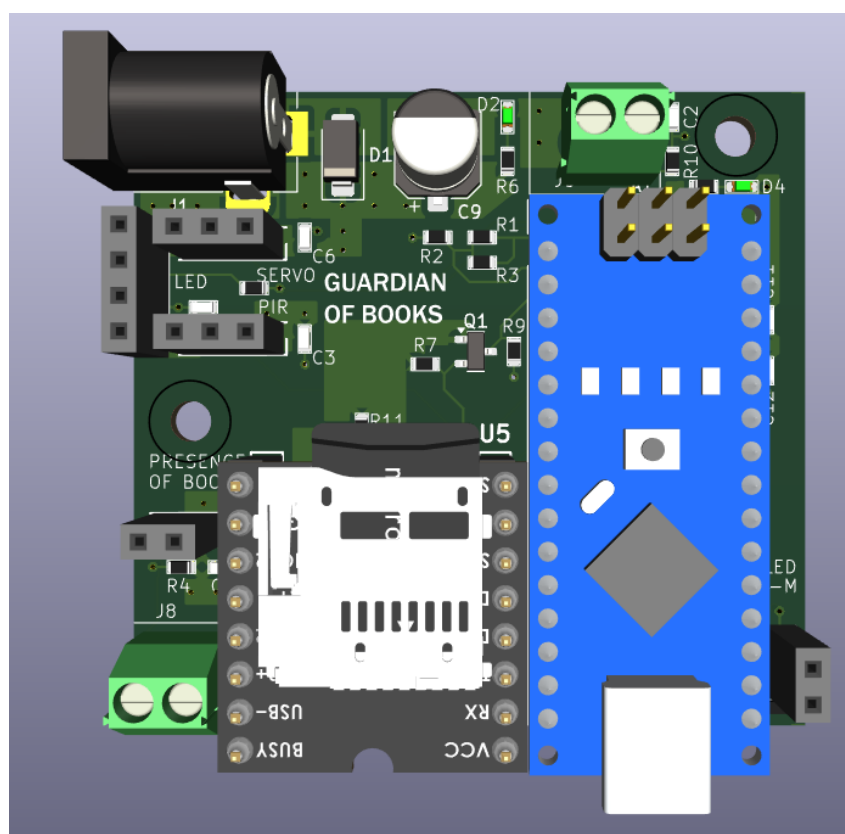


Figure 5: Model 3D płytki obwodów drukowanych

6. Schemat blokowy kodu

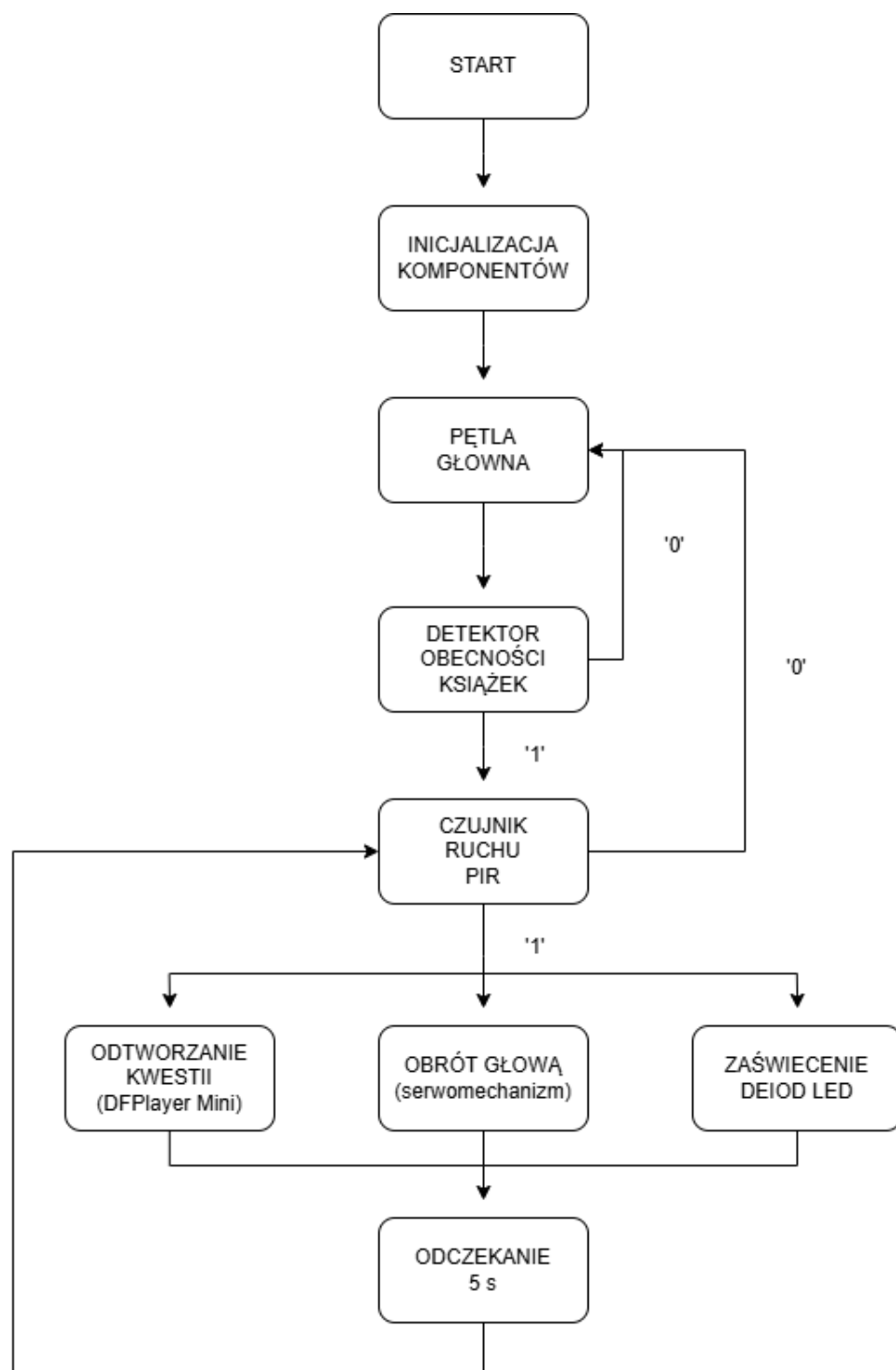


Figure 6: Schemat blokowy kodu

Kod wykorzystuje biblioteki:

- `Servo.h` – sterowanie serwem,
- `Adafruit_NeoPixel.h` – sterowanie LED WS2812,
- `SoftwareSerial.h` – komunikacja z DFPlayer Mini,
- `DFRobotDFPlayerMini.h` – wybór i odtwarzanie plików MP3.

Główne funkcje kodu:

- Odczyt z czujników (PIR, fotorezystory),
- Warunkowe włączanie LED, serwa i dźwięku,
- Komunikacja z odtwarzaczem MP3.

7. Instrukcja użytkownika i uruchomienia

Niniejsza instrukcja opisuje sposób poprawnego uruchomienia oraz użytkowania mechatronicznego trzymacza książek w formie figurki Iron-Mana. Urządzenie działa autonomicznie po prawidłowym zasileniu oraz spełnieniu warunków środowiskowych.

1. **Zasilanie:** Podłącz zasilacz 5V 2A do gniazda DC typu barrel znajdującego się z boku ścianki pionowej urządzenia.
2. **Karta microSD:** Upewnij się, że karta microSD została poprawnie włożona do gniazda DFPlayer Mini i zawiera poprawnie nazwane foldery:
 - Nazwy folderów: 01, 02, 03, ...
 - Pliki wewnątrz folderów: 001.mp3, 002.mp3, ...

Pliki dźwiękowe muszą być zapisane w formacie MP3, WAV lub WMA.

3. **Pozycjonowanie książek:** Umieść co najmniej jedną książkę na trzymaczu, zasłaniając czujnik obecności książek (fotorezystor umieszczony w ściance trzymacza).
4. **Uruchomienie systemu:** Podejdź do urządzenia w odległości poniżej 1 m. Czujnik PIR wykryje ruch użytkownika i aktywuje system.
5. **Przebieg działania po aktywacji:**
 - Sprawdzany jest poziom światła dziennego — jeżeli jest ciemno, załączane są diody LED do oświetlenia książek.
 - Sprawdzana jest obecność książek – brak obecności dezaktywuje system.
 - Serwomechanizm obraca głowę Iron-Mana w kierunku użytkownika.
 - DFPlayer Mini odtwarza losową kwestię Iron-Mana z dostępnych plików.
6. **Dezaktywacja:** Po wykryciu braku ruchu w otoczeniu (ok. 5 sekund bez sygnału z czujnika PIR), system automatycznie przechodzi w stan spoczynku:
 - Wyłączane jest oświetlenie LED,
 - Serwomechanizm wraca do pozycji początkowej,
 - Odtwarzanie zostaje zakończone.
7. **Bezpieczne wyłączenie:** Aby wyłączyć system, należy odłączyć zasilacz 5V DC. Nie należy wyłączać urządzenia przez odłączanie pojedynczych przewodów ani przez gwałtowne ruchy.
8. **Uwaga:** Podczas aktualizacji oprogramowania (wgrywania kodu do Arduino Nano przez USB), zewnętrzne zasilanie 5V **musi być odłączone**, aby uniknąć uszkodzenia portu USB lub mikrokontrolera.

Zalecenia dla użytkownika:

- Nie należy narażać urządzenia na działanie wilgoci ani wysokich temperatur.

- Nie należy manipulować przy czujnikach ani przewodach podczas działania systemu.
- Ruchome elementy (np. głowa figurki) powinny mieć zapewnioną przestrzeń do swobodnego poruszania się.
- System nie jest przystosowany do pracy ciągłej – zaleca się jego wyłączenie na noc lub podczas dłuższej nieobecności.

8. Instrukcja serwisowa

Urządzenie wymaga okresowej kontroli pod względem poprawności działania oraz czystości połączeń mechanicznych i elektrycznych. Poniżej przedstawiono zalecane czynności serwisowe oraz instrukcje aktualizacji lub debugowania kodu na mikrokontrolerze.

8.1. Elementy wymagające kontroli

- **Serwomechanizm MG90S** – należy upewnić się, że mechanicznie nie jest zablokowany oraz że obrót odbywa się płynnie.
- **Listwy LED WS2812** – należy sprawdzić, czy wszystkie diody świecą się prawidłowo. W przypadku losowego migania może być konieczne sprawdzenie rezystora szeregowego na linii danych ($330\ \Omega$).
- **DFPlayer Mini** – jeżeli nie odtwarza dźwięków, należy upewnić się, że karta microSD jest poprawnie sformatowana (FAT32), zawiera odpowiednie pliki w odpowiednich folderach oraz że linie komunikacyjne TX/RX nie są uszkodzone.
- **Czujniki PIR i fotorezystory** – mogą ulec zabrudzeniu lub uszkodzeniu mechanicznemu. Warto okresowo sprawdzić ich reakcje na zmiany w otoczeniu (ruch/światło).
- **Połączenia GND i 5V** – należy skontrolować, czy wszystkie przewody zasilające i masy są dobrze przylutowane lub pewnie umocowane w złączach.
- **Zasilanie 5V (2A)** – w przypadku niestabilnego działania układu (np. restart Arduino, niedziałające diody LED) należy zmierzyć napięcie wyjściowe zasilacza oraz sprawdzić, czy jego wydajność prądowa jest wystarczająca.
- **Zasilanie** - należy sprawdzić czy wszystkie diody sygnalizujące napięcie zasilania świecą prawidłowo (5V, 5V Arduino, 3.3V).

8.2. Procedura ładowania lub debugowania kodu

Do wgrania nowego kodu na Arduino Nano lub jego debugowania należy:

1. **Odłączyć zewnętrzne zasilanie 5V DC!**
2. Podłączyć komputer do Arduino Nano za pomocą kabla USB (microUSB).
3. W środowisku **Arduino IDE** wybrać odpowiedni port COM oraz płytkę (**Arduino Nano**, procesor ATmega328P, bootloader "Old Bootloader" jeśli wymagany).
4. Załadować kod klikając **Upload**.
5. Po zakończeniu wgrywania odłączyć kabel USB i dopiero wtedy ponownie podłączyć zasilanie 5V DC.

Uwaga: Jednoczesne podłączenie zasilania zewnętrznego oraz USB może prowadzić do uszkodzenia komputera lub płytki Arduino, ponieważ może dojść do konfliktu napięć na linii VCC.

8.3. Uwagi końcowe

W razie konieczności wymiany jakiegokolwiek elementu należy zachować szczególną ostrożność podczas lutowania oraz unikać zwarcć przy ponownym montażu. Wszystkie naprawy należy wykonywać przy odłączonym zasilaniu. Zaleca się przeprowadzenie pełnego testu systemu po każdej naprawie lub aktualizacji oprogramowania.

9. Widoki modelu 3D urządzenia

Model 3D przedstawia figure Iron Mana o wysokości 25–30 cm, trzymająca pionową ściankę pełniącą funkcję podpórki na książki. Postać ma wyciągniętą dłoń ustawioną pod kątem około 90 stopni, co zapewnia stabilne podparcie konstrukcji. Wzdłuż ramienia został zaprojektowany tunel umożliwiający poprowadzenie przewodów zasilających i sterujących do serwomechanizmu, ukrytego wewnątrz korpusu figury.

Głowa postaci jest ruchoma w zakresie 0–90 stopni dzięki zastosowaniu serwomechanizmu MG90S, zintegrowanego z korpusem. Wewnątrz głowy wydrążono gniazdo dopasowane do profilu zębatego serwa, co umożliwia bezpośrednie połączenie z jego osią – bez potrzeby stosowania dodatkowych mocowań. Cały mechanizm został dyskretnie ukryty pod elementem imitującym bark i szyję, co pozwala zachować spójność wizualną modelu i jednocześnie zapewnia precyzję oraz stabilność ruchu.

Pionowa ścianka wspierająca książki jest zintegrowana z podstawą, w której przewidziano miejsce na płytkę PCB oraz inne komponenty elektroniczne. Pokrywa ścianki zawiera otwory na diody LED oraz czujnik obecności książek, a całość zamyka estetyczna pokrywka mocowana za pomocą śrub. Projekt łączy elementy dekoracyjne z praktycznymi rozwiązaniami technicznymi, tworząc zarówno funkcjonalny, jak i wizualnie atrakcyjny element wyposażenia.

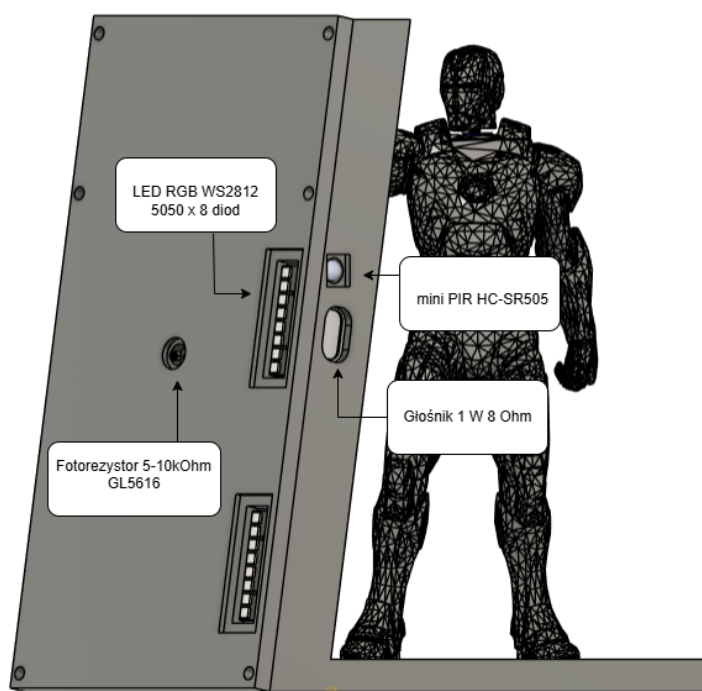


Figure 7: Widok modelu 3D z objaśnieniem elementów projektu (1)

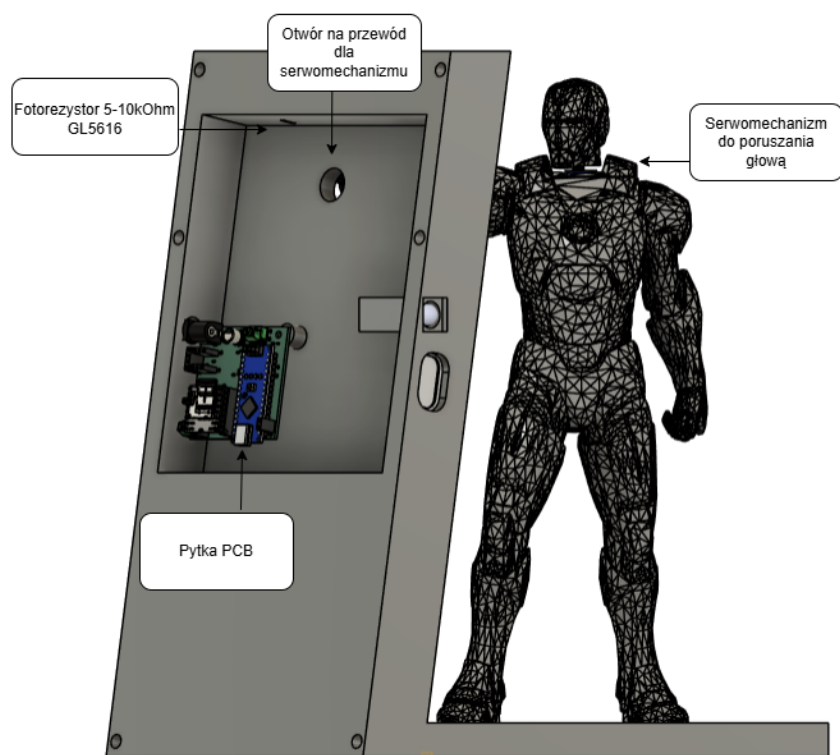


Figure 8: Widok modelu 3D z objaśnieniem elementów projektu (2)

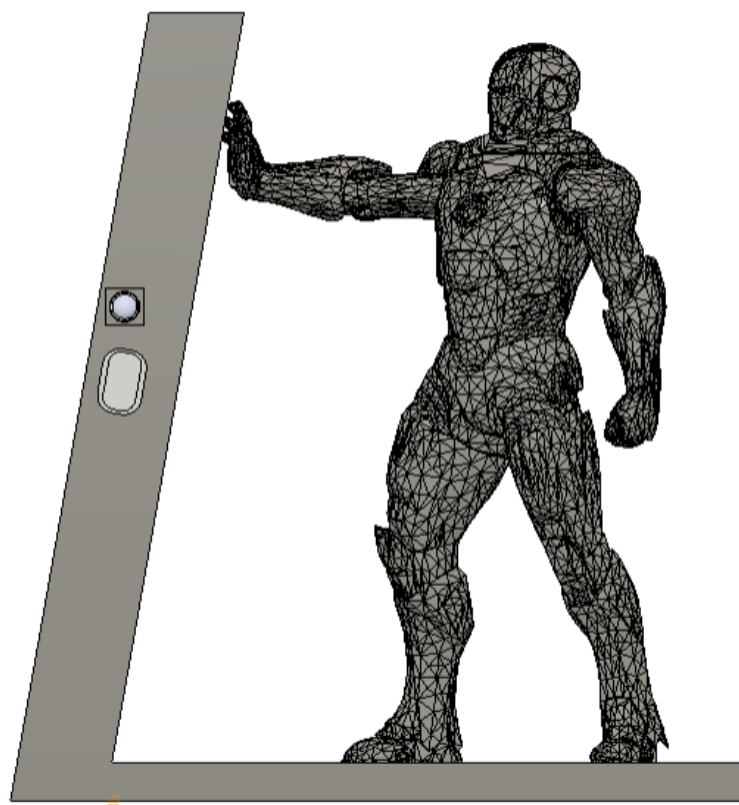


Figure 9: Widok modelu 3D z boku

Załączniki

- Plik BOM (.csv),
- Kod programu (.ino),
- Pliki 3D (.stl, .step),
- Schematy elektryczne (.sch, .brd),
- Biblioteki wykorzystanych elementów elektronicznych (.kicadsym, .pretty),
- Noty katalogowe kluczowych elementów (.pdf),
- Rysunki złożeniowe (.pdf).

Dodatek A – Rysunki złożeniowe

Schemat montażowy układu został przedstawiony na ilustracji 10, będącej wizualizacją modelu 3D płytki PCB. Na rysunku zaznaczono miejsca podłączenia wszystkich głównych przewodów sygnałowych oraz zasilających. Czerwone kwadraty na modelu oznaczają dedykowane punkty GND dla poszczególnych peryferiów.

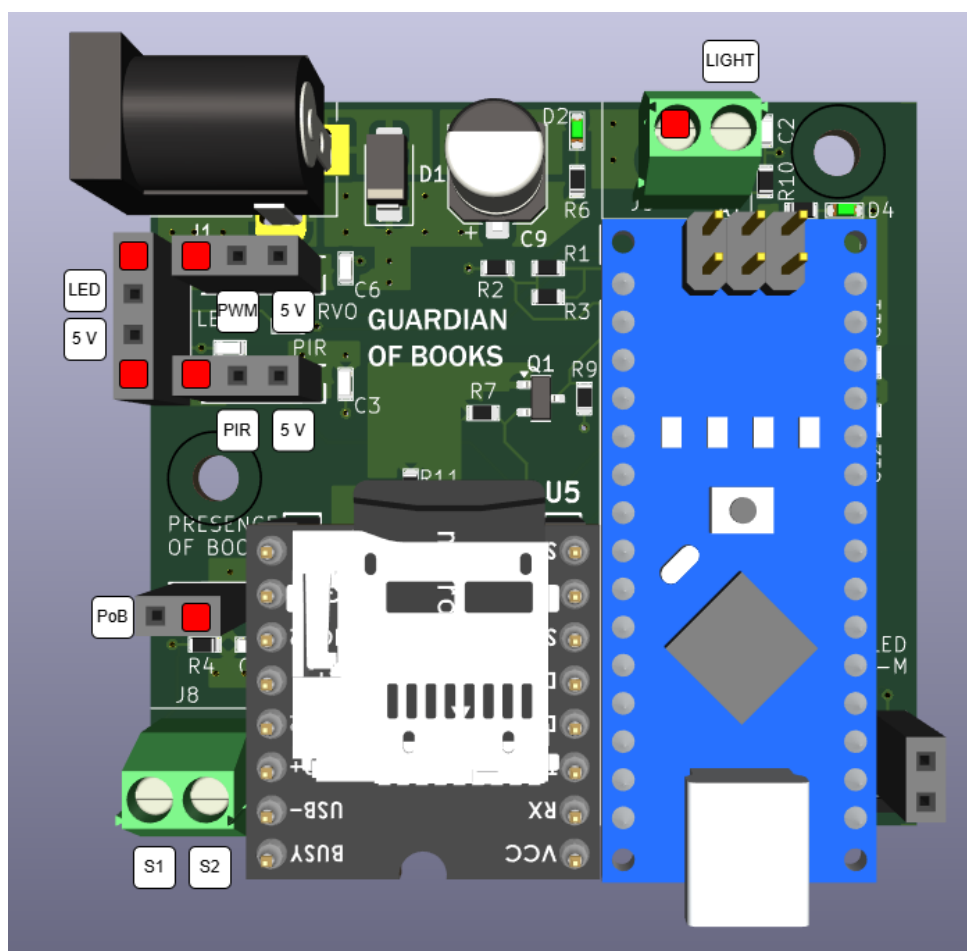


Figure 10: Model 3D PCB z oznaczeniami wyprowadzeń

W poniższej tabeli przedstawiono zestawienie peryferiów oraz opis ich wymaganych wyprowadzeń:

| Peryferium | Wyprowadzenia |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Serwo MG90S | PWM (D9), 5V, GND |
| Listwy LED WS2812 (2x) | LED (D6), 5V, GND |
| Czujnik PIR HC-SR505 | PIR (D2), 5V, GND |
| Głośnik 1W 8Ω | SPK ₁ , SPK ₂ |
| Fotorezystor (książki) | PoB, GND |
| Fotorezystor (światło dzienne) | LIGHT, GND |

Table 2: Zestawienie wyprowadzeń dla peryferiów

Dodatek B – Schemat elektroniczny układu

Dodatek C – Widok poszczególnych wartstw płytki PCB

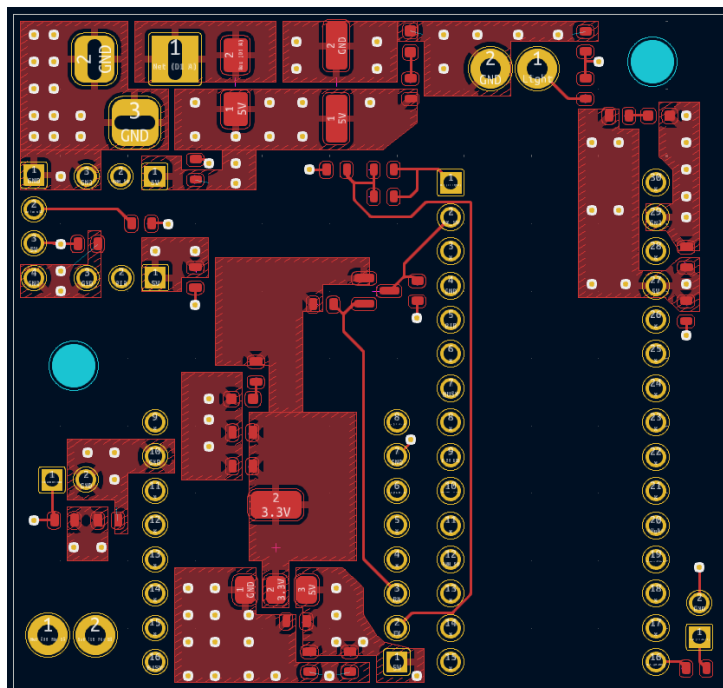


Figure 11: Warstwa sygnałowa (top)

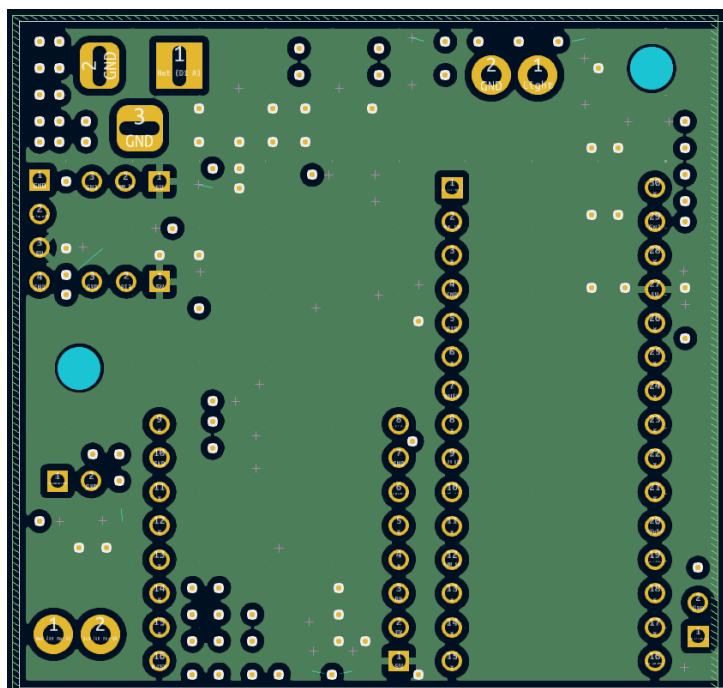


Figure 12: Warstwa zasilajaca 5V

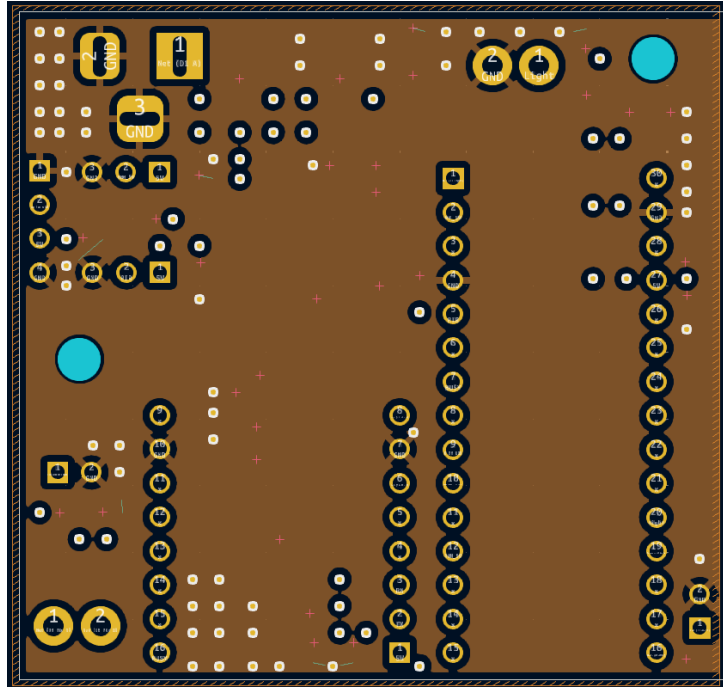


Figure 13: Warstwa GND

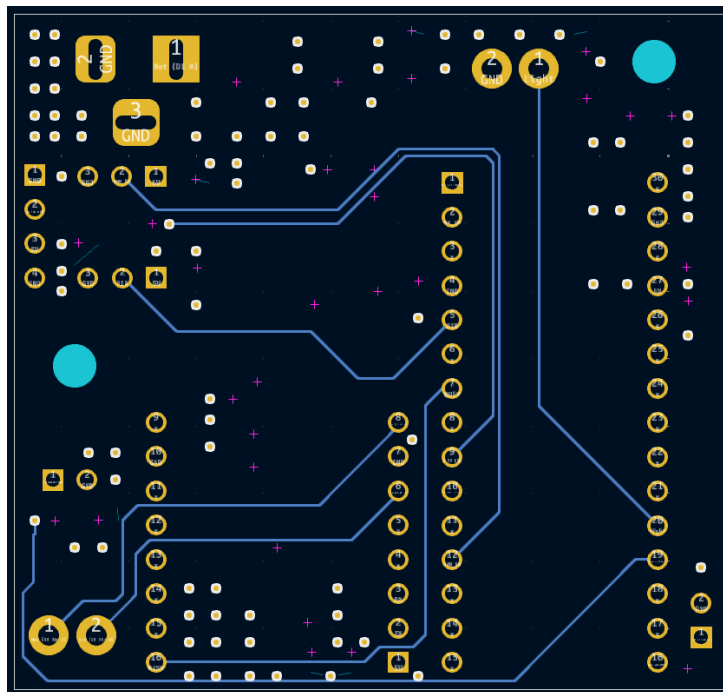


Figure 14: Warstwa sygnałowa (bottom)